

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

2018

Janne Köymäri

# TUOTANTOKONEEN TAKAISINMALLINNUS JA TUOTTEISTUS

Janne Köymäri

# TUOTANTOKONEEN TAKAISINMALLINNUS JA TUOTTEISTUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda yksityiskohtainen 3D-malli olemassa olevasta tuotantokoneesta eli suorittaa takaisinmallinnus ja saavuttaa kyky alkaa tuottamaan tätä konetta piensarjatuotantona. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi automaatioyrittäjä Jomet Oy.

Työn perustana oli tuotantokoneen omistavan Jomet Oy:n asiakasyrityksen tarve alkaa valmistamaan tätä konetta jälleenmyyntitarkoituksessa. Kyseisen asiakasyrityksen liiketoiminta keskittyi kuitenkin muoviteollisuuteen, joten heillä ei ollut kykyä ja resursseja suorittaa takaisinmallinnusta ja tuotantoprosessia tällaiselle koneelle. Asiakasyritys valitsi Jomet Oy:n yhteistyökumppanikseen mahdollistamaan koneen piensarjatuotanto.

Tässä työssä perehdyttiin takaisinmallinnukseen, tuotteistamiseen, mittausvirheiden, toleranssien, modulaarisuuden ja toimitusverkoston taustalla oleviin teorioihin. Nämä ovat relevantteja aiheita joko yritysten muodostaman toimitusketjun tai valmiin lopputuotteen syntymisen kannalta. Toimeksianto käsitti ainoastaan tuotantokoneen mekaniikan takaisinmallinnuksen ja tuotteistuksen, eikä koneen automaatio-ohjelmistoon perehdytty. Yksityiskohtaiset tiedot tuotantokoneesta luovutettiin toimeksiantajan käyttöön.

Tuotantokoneen mallinnus suoritettiin SolidWorks 2016 -mallinnusohjelmistolla ja se suoritettiin asiakasyrityksen tiloissa. Jokainen osa ja kokoonpano mitattiin manuaalisesti, ja mittausvirheet pyrittiin minimoimaan toistamalla kaikki mittaukset. Mallinnusvaiheen valmistuttua, malli täydennettiin lisäämällä tarkat tiedot jokaiseen osaan ja kokoonpanoon. Näiden lisääminen oli ratkaiseva osa tuotteistusprosessia, sillä ne sisälsivät tiedot osien ja kokoonpanojen valmistamisesta ja hankinnasta.

Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan tarkka 3D-malli tuotantokoneesta, jonka pohjalta luotiin onnistuneesti tuote, joka voidaan helposti tilata ja edelleen valmistaa ja koota. Haastavin osuus tässä toimeksiannossa oli löytää joidenkin koneen osien alkuperäinen toimittaja tai edes korvaava toimittaja alkuperäistoimittajien tilalle. Tästä huolimatta toimeksianto oli sopivan haasteellinen ja liittyi aiheeseen, jota on tutkittu erittäin vähän konetekniikan alalla.

## ASIASANAT:

Tuotteistus, takaisinmallinnus, 3D-mallinnus, mittausvirheet, toimitusketju, modulaarisuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2018 | 21 pages

Janne Köymäri

# REVERSE ENGINEERING AND PRODUCTIZATION OF A PRODUCTION MACHINE

The aim of this thesis was to create an elaborate 3D model of an existing production machine and acquire the ability to produce it in small series. The thesis was commissioned by Jomet Oy automation company.

The basis of this thesis was that the company owning this machine wanted to begin producing it in small series production. The business of this company is focused in plastic production thus they lack the ability to carry out a reverse engineering and production process. Jomet Oy was chosen as a cooperation partner to make the small series production possible.

In this thesis, the theory behind reverse engineering and productization process is presented elaborately. There are also many other subjects discoursed which are relevant either to the cooperation between the companies or executing the final product. The assignment included only the mechanical modelling of the machine and not reverse engineering of the automation software. Any information about the specifics of the machine will be concealed.

The modelling of the machine was carried out using SolidWorks 2016 modelling software and the modelling took place in the client company's premises. Each part and assembly were measured manually, and the measurement errors were minimized by multiple measurements. Once the modelling phase was finished, the model was completed with specific information on each of the parts and assemblies. Adding these was crucial for the productization phase, because the added information contained the knowledge of manufacturing and procurement.

As a conclusion it can be said that an exact 3D model of the machine was successfully completed, and it was made into a product that can be easily ordered, manufactured and assembled. The most difficult part of the assignment was to discover the original suppliers for some of the parts in the machine, or even a substitutive supplier. Despite this, the assignment was challenging enough and was related to a subject that is studied very little in the field of mechanical engineering.

## KEYWORDS:

Reverse engineering, modelling, supply chain, productization, modularity, measurement errors

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>5</b>
1.1 Tavoite ja tausta	5
1.2 Toimeksiantaja	5
<b>2 TAKAISINMALLINNUSPROSESSI</b>	<b>7</b>
2.1 Reverse engineering eli takaisinmallinnus	7
2.1.1 Datan kerääminen	9
2.2 Mittausvirheet	9
2.3 Toleranssit	11
<b>3 TUOTTEISTUS JA YRITYSYHTEISTYÖ</b>	<b>12</b>
3.1 Tuotteistus	12
3.2 Modulaarisuus	13
3.3 Toimitusketju ja toimitusverkosto	14
3.3.1 Toimitusketju	16
3.3.2 Ulkoistus alihankkijoille	16
<b>4 YHTEENVETO JA POHDINTAA</b>	<b>19</b>
4.1 Yhteenveto	19
4.2 Huolto-ohjelman luominen koneelle	20
4.3 Rakenteellisten heikkouksien kehittäminen	20
<b>LÄHTEET</b>	<b>21</b>

## KUVAT

Kuva 1. Jomet Oy:n uudet tuotantotilat Forssassa.	6
Kuva 2. Takaisinmallinnuksen vaiheet.	7
Kuva 3. Takaisinmallinnuksen avulla luotu 3D-malli kappaleesta.	8
Kuva 4. Esimerkki toimitusketjun rakenteesta.	14
Kuva 5. Järjestelmätoimittajan käyttö toimitusketjussa.	15
Kuva 6. Hankinnan ja tuotannon strategiat pohjautuvat yritysstrategiaan.	17

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tavoite ja tausta

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Forssassa toimivalle Jomet Oy:lle, joka suunnittelee ja valmistaa pakkausautomaatiokoneita. Jomet Oy:llä on pitkät perinteet automaatioalalla ja yritys tarjoaa asiakkailleen kokonaisvaltaisia ratkaisuja heidän tarpeisiinsa pohjautuen.

Työn tavoitteena on luoda tarkka 3D-malli jo olemassa olevasta tuotantokoneesta. Koneen omistaa Jomet Oy:n asiakasyritys Tampereelta, ja kone on heidän tuotantotiloissaan jatkuvassa käytössä. Kyseinen kone sisältää noin 150 mallinnettavaa osaa ja kokoonpanoa, jos pieniä kiinnityskomponentteja, kuten ruuveja ja pultteja ei lasketa. Kun koneesta on luotu 3D-malli, on sille tarkoitus suorittaa tuotteistusprosessi, jolloin se pysytään tilaamaan tuotantoon normaalin tilausprotokollan mukaisesti.

Koneelle suoritettavan takaisinmallinnuksen ja tuotteistuksen tarkoituksena on saavuttaa kyky alkaa tuottamaan sitä piensarjatuotantona. Lopullista vuotuista tuotantomäärää on mahdotonta ennustaa, sillä myyntimäärä tulee pohjautumaan puhtaasti koneen omistavan asiakasyrityksen asiakkaiden tarpeisiin.

Työssä perehdytään ensin takaisinmallinnuksen, tuotteistuksen ja yritysten muodostaman toimitusketjun taustalla olevia teorioihin. Tämän jälkeen esitetään takaisinmallinnusprosessi, jossa 3D-malli luotiin. Lopuksi kuvaillaan koneen tuotteistamista valmiiksi tuotteeksi ja siihen liittyviä toimintoja.

## 1.2 Toimeksiantaja

Jomet oy perustettiin vuonna 1977, jolloin se valmisti Turun Muna Oy:lle ensimmäisen pakkauskoneensa. Yritys on keskittynyt suunnittelemaan ja valmistamaan moderneja automaattisia pakkaus-, lavaus- ja materiaalinkäsittelykoneita. Koneita toimitetaan monille eri teollisuudenaloille, kuten elintarvike-, rakennus- ja metalliteollisuuteen. Jatkuvasti kasvava yritysten verkkokauppatoiminta näkyy myös vahvasti tilauskannassa. (Jomet Oy 2018).



Kuva 1. Jomet Oy:n uudet tuotantotilat Forssassa.

Tuotantokoneiden koko, paino ja tarkoitus vaihtelevat suuresti ja riippuvat aina asiakkaan toiveista. Koneet suunnitellaan ja valmistetaan aina tuotteen koon, painon ja volyymin perusteella sekä näihin pohjautuvan lopullisen pakkausratkaisun perusteella. Koska koneen vaatimukset vaihtelevat suuresti, ovat koneet lähes aina täysin yksilöllisiä, ellei asiakas tilaa useampaa samanlaista konetta.

Jomet Oy toimii kansainvälisesti, viennin ollessa merkittävä osa heidän liikevaihtoaan. Vientiä tapahtuu Baltian, Pohjoismaiden ja Euroopan lisäksi mm. Australiaan. Kotimaan markkinat ovat myös suuri markkina-alue. (Jomet Oy 2018).

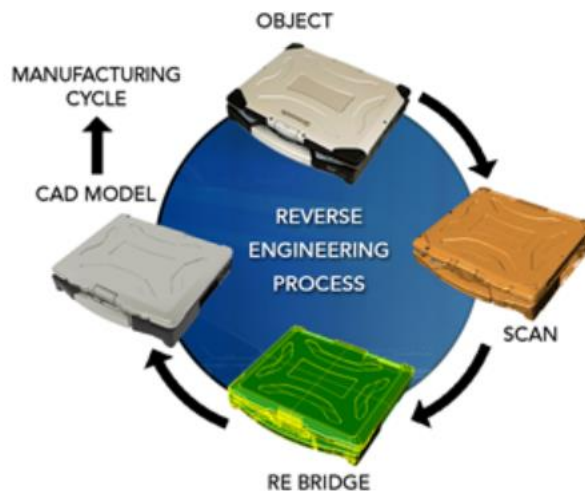
Tuotantokoneiden suunnittelu on jaoteltu mekaniikka- ja sähkösuunnitteluun. Sähkösuunnittelu pitää sisällään ohjelmoinnin ja sähkökuvien luomisen. Mekaniikkasuunnittelu keskittyy pelkästään tuotantokoneiden mekaanisen suunnitteluun.

Koska standardimallisia tuotantokoneita ei juurikaan tuotannossa ole, on jokainen kone räätälöitävä erikseen. Mekaniikkasuunnittelijoiden työtä helpottamaan on luotu yksittäisten komponenttien ja moduulien standardiratkaisuja. Pienetkin standardiratkaisut vaikuttavat lopulliseen suunnitteluun käytettävään työtuntien määrään. Mitä vähemmän aikaa voidaan kuluttaa yhden tuotantokoneen suunnitteluun, sitä enemmän tuotantokoneita voidaan suunnitella vuodessa.

## 2 TAKAISINMALLINNUSPROSESSI

### 2.1 Reverse engineering eli takaisinmallinnus

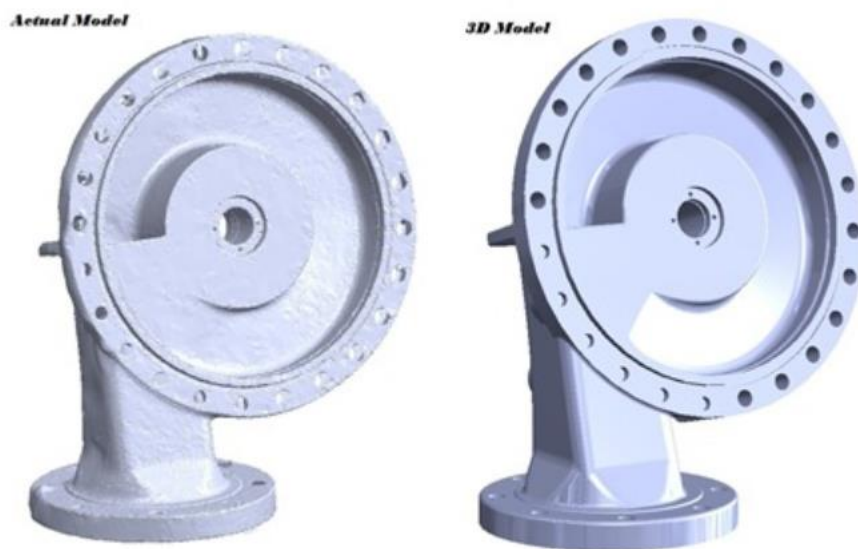
Olemassa olevan tuotteen geometrian muuttaminen 3D CAD -malliksi on kaikkein tunnetuin lähestymistapa geometrisessa takaisinmallinnuksessa eli reverse engineeringissä (Anwer & Mathieu 2016, 3). Monilla teollisuuden eri aloilla on usein toivottua luoda jo olemassa olevista konkreettisista tuotteista geometrisia malleja. Näin toimitaan erityisesti tilanteissa, joissa ei ole saatavilla tällaista mallia tai piirustuksia joiden pohjalta sellaisen voisi luoda. Tavanomaisessa koneopissa yleensä luodaan teknisistä konsepteista ja malleista varsinaisia kappaleita, mutta takaisinmallinnuksessa prosessi toimii päinvastoin, kun näistä kappaleista luodaan muokattavia malleja ja virtuaalisia luonnoksia. (Várady; Martin & Cox 1996, 1–3). Käytännössä takaisinmallinnus tarkoittaa yritystä luoda tuotteen malli tutkimalla itse kappaletta (Physical Digital 2018).



Kuva 2. Takaisinmallinnuksen vaiheet.

Kaikki tieto tuotteen uudelleen luomiseen ei välttämättä sijaitse sen piirustuksissa ja tiedoissa, vaan itse tuotteessa. Tarvitaan vain työkalut ja taidot sen informaation keräämiseen. (Bell 2006, 1). Takaisinmallinnuksen haasteena on havaita alkuperäisen kappaleen tai tuotteen perimmäinen tarkoitus pelkästään olemassa olevan tuotteen fyysisten mittojen perusteella. Tätä skannattavan datan eli tuotteen muuttamista CAD-malliksi kutsutaan takaisinmallinnuksen sillaksi. (Scanco 2018).

Takaisinmallinnukselle on olemassa monia eri syitä; tuotteille, jotka suunniteltiin ja valmistettiin useita vuosia sitten, ei ole olemassa olevia piirustuksia tai 3D CAD -dataa joiden pohjalta valmistaa uusi tuote. Alkuperäinen tuotteen valmistaja on saattanut myös lopettaa liiketoiminnan harjoittamisen tuotteen edustamalla alalla. (Physical Digital 2018). Joissakin tapauksissa kappaleesta halutaan luoda uusi versio, kun vanhalle versiolle ei kyetä enää toteuttamaan analyysejä ja modifikaatioita tuotekehityksen nimissä (Várady; Martin & Cox 1996, 1–3). Tämän opinnäytetyön kohteena olevalle tuotantokoneelle suoritetaan takaisinmallinnus alkuperäisen valmistajan markkinoilta pois jäämisen vuoksi.



Kuva 3. Takaisinmallinnuksen avulla luotu 3D-malli kappaleesta.

CAD-mallin olemassaolo tuo merkittävän hyödyn tuotekehityksessä, laadun parantamisessa, valmistusprosessissa ja tuotteen analysoinnissa (Várady; Martin & Cox 1996, 1–3). Takaisinmallinnusprosessi on erityisen kustannustehokas tapauksissa, joissa takaisinmallinnettava tuote edustaa merkittävää taloudellista sijoitusta tai niitä tullaan tuottamaan tulevaisuudessa sarjatuotantona suuri määrä (Physical Digital 2018).



### 2.1.1 Datan kerääminen

Kappaleen muotojen hahmottamiseen on olemassa monia eri metodeja. Pääasiallisesti kaikki metodit käyttävät jotain mekanismia tai ilmiötä, joka on vuorovaikutuksessa kappaleen pinnan tai tilavuuden kanssa. On olemassa metodeja, joilla voidaan kerätä dataa kappaleen muodosta ilman suoraa kontaktia kappaleen kanssa. Näissä metodeissa käytetään hyväksi valoa, ääntä tai magneettikenttiä. Mekaanisia mittavälineitä käytettäessä kappaleen kanssa ollaan konkreettisesti kosketuksissa. (Várady; Martin & Cox 1996, 4). Vanhanaikaisilla mittausvälineillä, kuten mittapaloilla, työntömitalla ja rullamitalla on monia rajoituksia, huolimatta siitä, että ne ovat nopeita ja helppoja käyttää (Physical Digital 2018). Kaikilla näillä metodeilla on vahvuutensa ja heikkoutensa, minkä vuoksi oikea mittaustekniikka tulee valita tarkoin kappaleen muodon ja monimutkaisuuden mukaan (Várady; Martin & Cox 1996, 4).

Dataa kerätessä voi esiintyä monia erilaisia käytännön ongelmia, kuten: mittauslaitteen kalibrointi ja tarkkuus, kappaleen muotojen tavoitettavuus, kiinnityskohdat mittalaitteelle, epätarkka data, tilastolliset virheet sekä kappaleen pinnan viimeistely (Várady; Martin & Cox 1996, 6). Kun lähes virheetön data on saatu onnistuneesti kerättyä, voidaan sen pohjalta lopulta rakentaa toimiva 3D CAD -malli (Anwer & Mathieu 2016, 3). Kuitenkin yhteenvetona voidaan todeta, että kaikkien mittausmetodien tulee olla vuorovaikutuksessa kappaleen pinnan kanssa jollain tavalla (Várady; Martin & Cox 1996, 6).

### 2.2 Mittausvirheet

Mittaustulokset eivät koskaan ole ehdottoman tarkkoja ja ne sisältävät aina jonkin verran eri tekijöistä aiheutuneita epäluotettavia tuloksia. Näiden mittausvirheiden suuruuteen vaikuttavat eniten mittauksessa käytettävä laitteisto, ympäristötekijät ja mittauksen suorittava henkilö itse. (Hiltunen; Linko; Hemminki; Hägg; Järvenpää; Saarinen; Simonen & Kärhä 2011, 63). Edes parhaat nykyaikaiset mittaustekniikat ja -välineet eivät takaa absoluuttisen tarkkaa mittaustulosta (Keinänen & Järvinen 2014, 95).

Mittausvirhe on mittaustekniikassa yleisesti käytetty termi, jolla tarkoitetaan mitatun arvon ja mitattavan suureen todellisen arvon eroa. Tällaiset mittausvirheet jaetaan yleisesti kolmeen kategoriaan: karkeat, systemaattiset ja satunnaiset virheet.

*Karkeita virheitä* ilmenee tilanteissa, joissa mitta-asteikkoa tulkitaan väärin, mittalaitteessa esiintyy toiminnallinen häiriö tai mittauksesta kirjataan ylös virheellinen tulos. Yleisesti voidaan todeta, että mittaustekniikassa karkea virhe tarkoittaa samaa asiaa kuin arkikielessäkin virhe tarkoittaa.

*Systemaattinen virhe*, johtuu yleensä joko mittauksessa käytössä olleesta mittalaitteesta tai käytetystä mittaustavasta. Tällaisia virheitä saattaa esiintyä esimerkiksi lämpölaajenemisen johdosta teräksisissä mitoissa, jotka on suunniteltu käytettäväksi huoneenlämmössä. (Keinänen & Järvinen 2014, 95–96). Systemaattiset virheet kyetään minimoimaan mittauksissa korjauksilla käyttäen apuna erilaisia asteikkoja ja korjaustaulukoita (Andersson & Tikka 1997, 128).

*Satunnaisia eli tilastollisia virheitä* esiintyy aina mittaustuloksissa (Keinänen & Järvinen 2014, 96). Tällaiset satunnaiset virheet ovat mittaajan hallitsemattomissa eikä niiden laajuutta tai suuntaa pystytä ennustamaan tai laskemaan (Andersson & Tikka 1997, 129). On tutkittu, että tilastolliset ja satunnaiset virheet kasvavat suhteessa mittalaitteen tarkkuuden kanssa. Erittäin tarkkoissa mittaustekniikoissa, kuten laserskannauksessa satunnaisia virheitä voi siis esiintyä yleisemmin, kuin karkeassa rullamitalla suoritettavassa mittauksessa. (Keinänen & Järvinen 2014, 96).

Mittaukseen vaikuttavat mittalaitteesta ja mittaajasta aiheutuvien virheiden lisäksi vallitsevan ympäristön olosuhteet ja työkappaleesta aiheutuvat virheet. Virheellisiä mittaustuloksia esiintyy myös, jos mittausväline ei ole suorassa mitattavaan kappaleeseen nähden. Näihin kaikkiin tekijöihin tulee kiinnittää suurta huomiota lähdetessä suorittamaan tämän opinnäytetyön takaisinmallinnusvaihetta, jossa kappaleiden mittaaminen on kriittisessä osassa.

Voimien aiheuttamilla virheillä tarkoitetaan sellaisia mittausvirheitä, joissa jokin voima taivuttaa joko mitattavaa kappaletta tai mittausvälinettä väärin mittaustulosta. Työkappaleeseen vaikuttavia voimia voivat olla esimerkiksi pitkittäissuuntaiset taipumat aksleissa tai ohuissa levyissä, jotka väärin mittaustulosta alaspäin. Näille on tavallista, että voiman aiheuttaa kappaleen oma paino, jolloin se on vaikeampaa havaita, kuin jos taipuman aiheuttaisi ylimääräinen kuorma kappaleen päällä.

Vaikeasti havaittava mittausvirhe tapahtuu, jos mittausväline ei ole suorassa mitattavaan kappaleeseen nähden. Akselin sisähalkaisijaa mitattaessa tulee varmistua siitä, että mitattavalla etsitään asennot, joilla laite on halkaisijaan nähden kohtisuorassa ja antaa maksimilukeman. Työntömitalla mitattaessa pyöreän kappaleen ulkohalkaisijaa on etuna

se, että työntömitan taso suoristaa itse itsensä mitattavaa pintaa vasten, kun siihen kohdistetaan voimaa. Avainasemassa kaikissa suoritettavissa mittauksissa on mittaaja itse, joka määrittää sen, miten mittaus suoritetaan, millaisilla välineillä ja millaisissa olosuhteissa. Mittaaja valitsee oikeanlaisen mittavälineen niiden tietojen ja taitojen perusteella, joita hänellä on, samalla huomioiden käytettävissä olevat mahdollisuudet. (Andersson & Tikka 1997, 133–144).

### 2.3 Toleranssit

Todelliset mitat voivat valmistettavissa kappaleissa käytännössä poiketa jonkin verran ilmoitetuista mitoista säilyttäen kappaleen sopivuuden. Piirustuksessa ilmoitetaan aina kappaleen perus- eli nimellismitta. Tästä mitasta sallittu poikkeama ilmoitetaan kappaleen valmistajalle toleranssina. Valmistustarkkuus eli toleranssi kertoo paljonko kyseinen mitta saa poiketa ilmoitetusta nimellismitasta säilyttäen käyttökelpoisuutensa. (Keinänen & Järvinen 2014, 27).

Yleisesti näitä toleransseja käytetään ilmaisemaan sovitteita, joissa kaksi kappaletta on saatava sopimaan sisäkkäin tietyllä välyksellä tai ahdistuksella. Nämä sovitelajit jaetaan usein käyttötarkoituksen mukaan seuraaviin kategorioihin (Keinänen & Järvinen 2014, 34–35):

1. Välyssovitteet, joissa reiän toleranssiväli on aina kokonaisuudessaan akselin ylärajamitan ulkopuolella.
2. Välisovitteet, joissa akselin ja reiän toleranssivälit sijoittuvat limittäin eli peittävät toisensa kokonaan tai vain osittain.
3. Ahdistusovitteet, joissa reiän toleranssiväli on aina kokonaisuudessaan, päinvastoin kuin välyssovitteissa, akselin alarajamitan sisäpuolella.

Näistä valitaan aina tilanteen mukaan käyttökohteeseen sopiva sovite.

## 3 TUOTTEISTUS JA YRITYSYHTEISTYÖ

### 3.1 Tuotteistus

Tuotteistaminen liittyy usein tilanteeseen, jossa on olemassa jokin idea tai hahmotelma, joka halutaan muuttaa konkreettiseksi tuotteeksi (Vuori 2002). Tuotteistuksessa tehdään asiakkaalle mahdolliseksi ostaa valmis tuotekonsepti, joka pohjautuu olemassa olevaan ideaan. Yrityksen hallussa olevalla osaamisella ei ole juurikaan arvoa, jos sitä ei kyetä myymään asiakkaille tuotteen muodossa. Tässä kaikessa on tavallaan kyse innovaatio-prosessista, jossa haasteena on ideoiden ja osaamisen muuttaminen myyntiin kelpaaviksi tuotekonsepteiksi. Merkittävin ero tuotteistuksen ja tuotekehitysprosessin välillä on prosessin laajuus. Tuotteistamisessa uuden tuotteen luominen muodostaa vain yhden osaproessin koko prosessissa. Tuotteistamisessa pyritään muuttamaan kokonainen osaaminen, teknologia tai idea kaupattavan tuotteen muotoon. (Tiensuu 2005, 9).

Kun tuotteistus kohdistetaan yhtiössä johonkin tiettyyn palveluun, on siitä yleensä ollut jo olemassa jonkinlainen versio olemassa. Tätä palvelua on jo saatettu soveltaakin, mutta siitä halutaan luoda hallitumpi tuote. Tuotteistuksessa palveluille on luonteenomaista, että on toteutettu jokin palvelus tai pyyntö toiselle toimijalle kertaluontoisesti tai muuten satunnaisesti. Ennen tuotteistuksen toteutumista tämä on voinut olla osa jotain suurempaa kokonaisuutta ja se on saattanut vaatia usein jonkinlaista yksilöllistä muuntamista. Kyse on myös voinut olla organisaation sisäisestä toiminnasta, jonka aikana on huomattu sen toimivuus ja on herännyt ajatus sen potentiaalista ulkoisilla markkinoilla. (Vuori 2002).

Tuotteistusprosessissa pyritään määrittelemään reunaehdot tuotteelle tai palvelulle. Reunaehdoissa pyritään määrittelemään palvelun kattavuus, toimitus- ja tuotantojärjestelmä, hallintaprosessit ja säännönmukaistamaan tuotteen ympärille rakentuva liiketoiminta. Palvelun kattavuudessa määritellään ketkä ovat ne asiakkaat, joille sitä aletaan markkinoimaan ja millä ehdoilla. Hallintaprosessit käsittävät seurantajärjestelmät ja riskienhallinnan käsittelemisen. Tuotantojärjestelmän määrittelemisessä tulee selvittää, kuka alkaa johtamaan projektia ja kuinka suuren henkilöstön se vaatii. Lisäksi selvitetään käytettävät välineet, menetelmät, käytettävät tietomateriaalit ja aineiston hallinta. Kaiken tämän tavoitteena on luoda tuotteesta professionaalinen ja markkinakelpoinen konsepti, jonka ympärille säännöllinen liiketoiminta on helppo luoda. (Vuori 2002).

### 3.2 Modulaarisuus

Moduulijärjestelmässä koneen muodostavista yksittäisosista ja rakenneryhmistä käytetään nimitystä moduuli. Nämä moduulit edustavat koneenrakennuksessa rakennuspa-loja, joiden erilaisilla yhdistelmillä saavutetaan erilaisia kokonaistoimintoja. (Pahl & Beitz 1990, 436). Moduuleja voidaan kokoonpanossa yhdistellä ja vaihdella keskenään paljon, sillä niillä on tarkkaan määritellyt rajapinnat, jotka säilyvät vakioina. Moduloinnilla saavu-tetaan myös suurempi standardikomponenttien lukumäärä vähenevien tuotevariaatioi-den avulla. Tämä helpottaa suuresti erilaisten tuotevariaatioiden hallintaa, sillä varioinnin vaikutukset kyetään rajaamaan vain tiettyyn osaan lopputuotteesta. Tuotemoduulien ko-koluokka tuotevalikoimassa vaihtelee suuresti, sillä yksittäistä komponenttiakin voidaan pitää moduulina, jos se vain täyttää moduuleja yleisesti koskevat kriteerit ja vaatimukset. (Österholm & Tuokko 2001, 8–9).

Moduloinnin avulla tuotesuunnittelun pääpaino voidaan siirtää asiakasorientoituneesta suunnittelusta itse tuotekehitykseen. Asiakaskohtaiset toimitukset nopeutuvat huomatta-vasti, kun ne voidaan koota jo tuotekehitysvaiheessa luotujen moduulien pohjalta ja räätälöinnit voidaan kohdistaa vain tiettyihin koneen moduuleihin. Nämä nopeuttavat huo-mattavasti koneen läpivientiaikaa, yrityksen omaa tuotantoa ja nimikkeiden hallintaa tuo-tannossa. (Jahnukainen; Lahti & Virtanen 1997, 19). Modulointi nopeuttaa myös huo-mattavasti yksittäisiä tuotteisiin tehtäviä muutoksia, sillä ne rajautuvat koskemaan vain yhden moduulin sisältöä, eikä vaikutukset täten ulotu sen rajapintojen ulkopuolelle (Ös-terholm & Tuokko, 9).

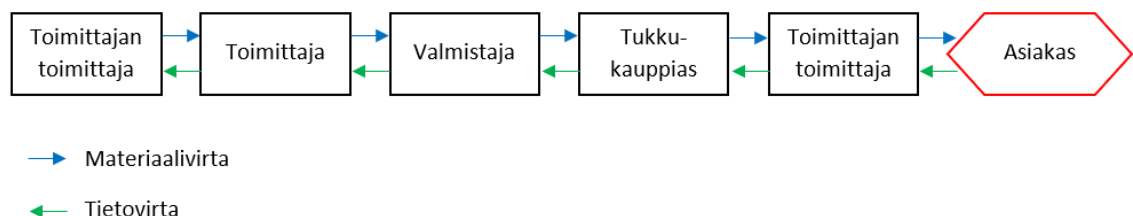
Tuotteen moduloinnin edellytyksinä ovat lähtökohtaisesti vakiintunut asema tuotan-nossa, riittävä volyymi ja tunnetut asiakastarpeet. Moduloinnin perimmäisenä tarkoituk-sena on saavuttaa monia erilaisia variaatioita lopputuotteesta pienellä määrällä moduu-leja. Kyseessä on kuitenkin mittava tuotekehitysprojekti yrityksessä, jonka onnistumisen edellytyksenä on edellä mainittujen asioiden lisäksi tuoteominaisuuksien erittäin hyvä tunteminen. Moduloinnin voidaan todeta onnistuneen yrityksessä hyvin, jos moduloidun lopputuotteen lisäksi ei myydä suurta määrää räätälöityjä ratkaisuja. Modulaarisuuden keskeisenä ajatuksena on luoda toimivan tuotteen runko perusmoduuleista, jotka muo-dostavat jo itsessään valmiin tuotteen, joka kelpaa sellaisenaan asiakkaille. Perusmo-duuleista muodostuvalle tuotteen rungolle kehitetään tueksi apumoduuleja, lisävaruste-tasoja ja sovitusmoduuleja. Näiden avulla saavutetaan esimerkiksi suurempi määrä

tuoteominaisuuksia ja voidaan kasvattaa liittymismahdollisuuksia muihin järjestelmiin. (Välimaa; Kankkunen; Lagerroos & Lehtinen 1994, 166).

Moduloinnissa yritetään saavuttaa ideaalitilanne, jossa yhtä moduulia kohden olisi vain yksi toiminto, jolloin eri moduulien keskinäiset vuorovaikutukset olisi minimoitu ja määriteltä tarkkaan. Tavoitteena tällaisessa tilanteessa on se, että yksittäisiin moduuleihin voitaisiin suorittaa muutoksia ilman, että muutos vaikuttaisi minkään muun moduulin toimintaan ja täten ei vaarantaisi koneen oikeintoimivuutta. Huolimatta siitä, että ideaalitilanteessa moduuli koskettaa aina vain yhtä ominaisuutta koneessa, tulisi moduloinnissa pyrkiä niin pieneen moduulien lopulliseen määrään kuin mahdollista. (Österholm & Tuokko 2001, 9). Moduulijärjestelmää lähetään yleensä kehittämään vasta siinä vaiheessa, kun lopputuotteelta aletaan vaatia monia erilaisia variaatioita ja tulee edullisemmaksi moduloida koko konstruktio, kuin räätälöidä jokainen tilaus erikseen (Pahl & Beitz 1990, 437).

### 3.3 Toimitusketju ja toimitusverkosto

Liiketaloudessa käytävä kilpailu käydään tuotteiden ja yritysten lisäksi yritysten välisissä toimitusketjuissa. Asiakkaiden tarpeista syntyy tavoite luoda paras kilpailukyky osapuolten yhteisten ponnistelujen kautta. Tilausketju alkaa asiakkailta ja jatkuu tavarantoimittajilta lähtevänä toimitusketjuna, jota tarkastellaan aina kokonaisuutena. (Sakki 2003, 171). Hankinnoissa suoritettavat toimittajien valinta- ja arviointiprosessit ovat aina erilaiset riippuen hankinnan tyypistä. Tuotteet, joita tullaan tilaamaan määrällisesti vähän ja ovat kriittisyydeltään vähämerkityksellisiä, hankitaan pitkälti toimittajan tarjoushinnan ja kokemuksen pohjalta. Valittaessa toimittaja kokemuksen pohjalta, arvioidaan toimittajan aikaisempi laatu ja toimituskyky. (Tanskanen 2004, 96).

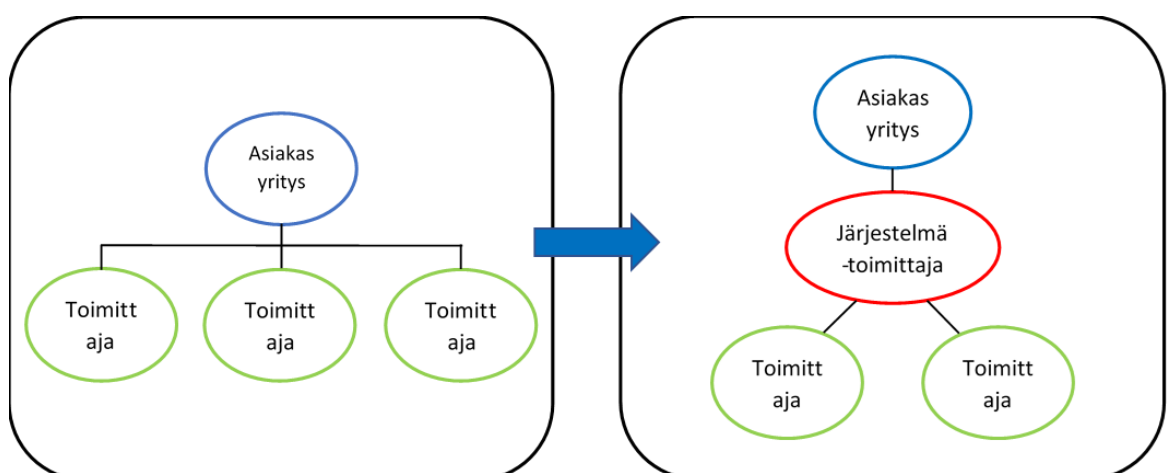


Kuva 4. Esimerkki toimitusketjun rakenteesta.

Toimittajien lukumäärä on erittäin tärkeää hankintojen hallitsemisen ja kehityksen kannalta. Mitä enemmän toimittajia yhtiöllä on käytössään, sitä enemmän kuluja kohdistuu ohjaukseen ja hallintaan, jolloin myös kehitysmahdollisuudet toimittajien yhteistyötoiminnassa huononevat (Tanskanen 2004, 94–96). Ratkaisevassa roolissa kehitystyön edellytyksenä on molemminpuolinen luottamus hankinnan tekevän yhtiön ja toimittajan välillä (Jahnukainen; Lahti & Virtanen 1997, 77).

Toimittajien määrä yhtiössä riippuu siitä, millaisina kokonaisuuksina hankinnat suoritetaan ja kuinka monta rinnakkain toimivaa toimittajaa jokaiselle hankintakokonaisuudelle tulee. Suureen toimittajamäärään ja hankalasti ohjailtavissa olevaan hankintaan päädytään, jos hankinnat suoritetaan tuotekokonaisuuden alimmalla rakennetasolla. Tällaisissa tilanteissa kaikkia lopputuotteen osia joudutaan käsittelemään erikseen, joka on resursseja kuluttavaa. (Tanskanen 2004, 94–96).

Hankkimalla osa lopputuotteesta moduuleina, systeemeinä tai kokonaisina järjestelminä voidaan vähentää hankittavien nimikkeiden määrää radikaalisti. Tämä kuitenkin korostaa toimitusketjun hyvää hallintaa. Tällainen nimikkeiden hankinta moduulien ja systeemien muodossa tulee huomioida jo hyvissä ajoin tuotekehitysvaiheessa. Järjestelmätoimittaja valmistaa yleensä koko kokonaisuuden itse käyttäen omia toimittajiaan ja vastaten samalla tuotteen tuotekehityksestä. Systeemit toimittaja poikkeaa tästä siinä, ettei se välttämättä valmista itse kaikkia kokonaisuuden nimikkeitä, vaan delegoi osan niistä omille toimittajilleen. Systeemit toimittajalta vaaditaan hyvää tuntemusta asiakasyrityksensä liiketoiminnasta ja sen tulevaisuuden kehityssuunnista. (Tanskanen 2004, 94).



Kuva 5. Järjestelmätoimittajan käyttö toimitusketjussa.

### 3.3.1 Toimitusketju

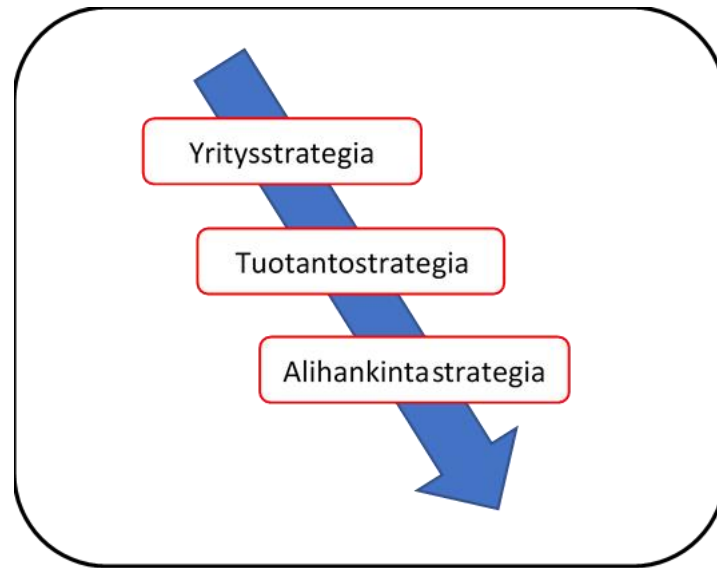
Toimitusketju muodostuu kaikista niistä yrityksistä, jotka ovat osallisena tuotteiden valmistamisessa ja asiakkaalle toimittamisessa. Toimitusketju käsittää siis kaikki yhtiöt raaka-ainevalmistajista loppuasiakkaaseen saakka. Luvun 2.4 kuvassa 4 on havainnollistettu, kuinka toimitusketju voi toimia yritysmaailmassa. Tämä kuva toimii kuitenkin vain esimerkkinä, sillä tällaisista toimitusketjuista on todellisuudessa olemassa monia erilaisia variaatiota. Ketjussa esiintyvien yritysten määrä vaihtelee, eikä ole vakio. Lisäksi ketjuun kuuluu monesti kuvassa esiintyvien yritysten lisäksi monia erilaisia palveluita tarjoavia yrityksiä, jotka osallistuvat tuotteen logistiikkaan ja varastointiratkaisuihin. (Blomqvist & Tanskanen 2004, 103).

Jotta toimitusketjua pystyttäisiin hallitsemaan onnistuneesti, on oleellista tarkastella tieto- ja materiaalivirtoja, jotka kulkevat koko ketjun lävitse raaka-ainetoimittajilta lopulliselle asiakkaalle saakka. Hallinnan tarkoituksena on maksimoida tuotto kaikille toimitusketjuun osallistuville osapuolille mahdollisimman kustannustehokkaasti. Toimitusketjun kokonaisvaltainen optimointi on usein vaikea tai lähes mahdotonta tehdä, sillä kaikki siihen osallistuvat osapuolet pyrkivät loppujen lopuksi maksimoimaan oman tuloksensa. Joskus tämä tapahtuu toisen osapuolen kustannuksella. Tarkoituksena on saada kaikki osapuolet saman aatteen taakse, jotta kaikki voivat kokea hyötyvänsä tästä yhteistyöstä. Yhteistyö tapahtuu harvoin yhteisestä päätöksestä, vaan yleensä jokin osapuoli saa suuremman roolin toimitusketjun johtajana. (Blomqvist & Tanskanen 2004, 103).

### 3.3.2 Ulkoistus alihankkijoille

Yritysten hankinnan kehittämisen kulmakivenä toimii alihankintastrategia. Yrityksissä on monia eritasoisia strategioita, jotka ovat voimakkaasti toisistaan riippuvaisia. Tämä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa. (Jahnukainen; Lahti & Virtanen 1997, 25). Yksi keskeisimmistä strategisiin toimintatapoihin liittyvistä päätöksistä on se, miten yritys ratkaisee eri osien hankintatoimen. Tässä tilanteessa tulee suorittaa jako itse tehtävien osien ja ulkoa hankittavien osien välillä. Yritysmaailmassa tätä ulkopuoliselle toimijalle vastuun siirtämistä kutsutaan tuotteiden tai palveluiden ulkoistamiseksi. Ulkoistus ei ole lopullinen päätös tuotteen hankinnasta, vaan monesti jo ulkoistettuja tuotteita saatetaan tuoda takaisin oman valmistuksen piiriin. Näin voi käydä esimerkiksi omassa yhtiössä toteutetun uuden investoinnin kautta. (Tanskanen 2004, 88).





Kuva 6. Hankinnan ja tuotannon strategiat pohjautuvat yritysstrategiaan.

Asiakasyritysten laitekokojen suureneminen asettaa vaatimuksen työstökoneiden kasvattamiselle toimitusketjuissa. Tilanteessa, jossa toimittajien laitekanta ei ole riittävän suuri tai kattava vaadittavien nimikkeiden työstöön, tulee asiakasyrityksen itse investoida työstölaitteisiin tai etsiä uusi toimitusketjuun sopiva toimittaja. Asiakasyritysten tulee itse kartoittaa, mikä on heidän ydinosamisaaluettaan ja onko työstökoneisiin tehtävä investointi osa tätä aluetta. Toimittajien kohdalla investointien priorisointi pohjautuu sopimuksen kattavuuteen asiakasyrityksen kanssa. Jos asiakasyritykselle työstettävien nimikkeiden osuus on muodostanut aikaisemmin merkittävän osan toimittajan liikevaihdosta, kannattaa laitekannan päivittämiseen investoida. (Jahnukainen; Lahti & Virtanen 1997, 72).

Ulkoistaessa tuotteita ja kokonaisuuksia yrityksen tulee päättää, millaisessa kokoluokassa se tehdään. Lopputuotteesta voidaan ulkoistaa yksittäisiä osia, moduuleja, osakokonaisuuksia tai joissain tapauksissa koko lopputuote. Tätä kutsutaan sopimusvalmistamiseksi. Ratkaisevana tekijänä ulkoistamisstrategiassa voi olla osaamiseen pohjautuva näkökulma. Tällöin jokaisella tuotealueella tehdään analyysi yrityksen vahvimmista ja heikoimmista osaamisalueista, jolloin ulkoistamisen voi keskittää niihin osa-alueisiin, joissa se ei ole vahvimmillaan osaamisessa.

Riippumatta siitä millaista lähestymistapaa käytetään, tärkeintä ulkoistamisessa on rajanveto yrityksen heikkojen ja vahvojen osa-alueiden välillä. Rajanvedossa heikommat ja liikesuunnitelman kannalta epäolennaiset osa-alueet voidaan ulkoistaa yrityksille, joille

ne ovat ydinsaamisaluetta. Omat resurssit ja kehityspanokset voidaan keskittää osa-alueisiin, joilta löytyy jo valmiiksi kilpailukykyistä osaamista ja se halutaan nostaa ylivoimaiselle tasolle muihin kilpailijoihin verrattuna. Toiminnot ja osaamisalueet, jotka eivät ole yrityksen ydinsaamisaluetta, ovat kuitenkin lähes aina sitä jollekin toiselle yritykselle. Ulkoistaessa tuotteita tai palveluita tällä strategialla, ei vertailuparametrina välttämättä kannata käyttää kustannustehokkuutta, sillä hyödyt tulee enemmän esille pitkän aikavälin kilpailukykyyn paranemisena kilpailijoihin verrattuna. (Tanskanen 2004, 88–89).

Ulkoistamisen suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa vedetään yleensä rajat seuraavien ryhmien välille: Ehdottomasti itse tehtävät toiminnot, toimittajilta ehdottomasti hankittavat toiminnot ja toiminnot, jotka hankitaan joko ulkoa tai tehdään itse. Näistä kolmesta viimeisin aiheuttaa eniten päänvaivaa päätöksenteossa. Sen tueksi tulee tehdä tarkempia analyysejä oman valmistuksen ja ulkoistamisen etuuksien, kuten kustannustehokkuuden välillä. (Tanskanen 2004, 89).

## 4 YHTEENVETO JA POHDINTAA

### 4.1 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli takaisinmallinnuksen periaatteita noudattaen luoda 3D-malli tuotantokoneesta ja luoda tämän mallin avulla valmis tuote piensarjatuotantoon. Työssä saavutettiin nämä tavoitteet ja toimeksiantajan käyttöön luovutettiin tarkat tekniset piirustukset tuotantokoneesta. Nämä piirustukset sisälsivät kaikki tarvittavat tiedot osien valmistettavuudesta, materiaaleista ja mahdollisista alihankkijoista. Lisäksi toimeksiantaja voi halutessaan hyödyntää työn teoriaosuutta, johon valitut aiheet ovat tämän työn lisäksi merkittäviä myös heidän liikealallaan. Merkittävimpiä näistä aiheista ovat modulaarisuus, takaisinmallinnus ja tuotteistus, joiden käsitteleminen ja ymmärtäminen on jatkossa suuresti hyödyksi vastaavanlaisissa projekteissa. Takaisinmallinnusprosessin ja tuotteistuksen tarkat tiedot luovutetaan vain toimeksiantajan käyttöön, joten ne on tästä julkaisusta jätetty pois.

Työn aikana havaittiin, kuinka osan jäljittämisen vaikeus riippui paljon siitä, kuinka vanha osa on ja kuinka suurissa määrin sitä on aikanaan myyty. Vaikeimmin jäljitettävistä osista puuttui myös kaikki merkinnät nimikkeestä ja valmistajasta. Tämä osoittaa teknisten piirustusten säilyttämisen tärkeyden vanhoissakin koneissa. Piirustusten pysyessä tallessa kyetään vanhojakin koneita palauttamaan uudestaan tuotantoon. Myös varaosien saatavuuden varmistamiseksi on välttämätöntä saada nopeasti selville, kuka alkuperäisen osan on toimittanut. Työn aikana havaittiin myös, että on erittäin tärkeää sopia toimitusketjun osapuolten kanssa suoritettavan työn ehdoista ennen työn alkamista.

Teoriaosuutta koottaessa havaittiin, että mekaniikkaan keskittyneestä takaisinmallinnuksesta on erittäin vähän tutkimustietoa ja kirjallisuutta saatavilla. Monet löydetty lähteet painottuivat enemmän ohjelmistojen lähdekoodin takaisinmallinnukseen, joka on enemmän tutkittu ja käytetty takaisinmallinnuksen muoto. Vähäinen kirjallisuus mekaniikkaan painottuvasta takaisinmallinnuksesta osoittaa, että sitä tulisi enemmän tutkia ja käsitellä. Tästä hyötyisivät useat teknologia-alan yritykset monilla eri aloilla.

Tämä työ osoittaa, kuinka oikeita metodeja hyväksikäyttäen vanhoja tuotantokonsepteja voidaan ottaa onnistuneesti uudelleen tuotantoon ja myyntiin. Tarvetta tällaiselle liiketoiminnalle on vaikea arvioida, mutta oikein hyödynnettynä sillä säästettäisiin arvokkaita resursseja suunnittelussa.

#### 4.2 Huolto-ohjelman luominen koneelle

Tuotantokoneille suoritettavat huollot ovat merkittävä osuus koneiden elinkaarihallintaa. Koneita tulee säännöllisesti huoltaa, jotta voidaan varmistua siitä, ettei niiden toimintakyky missään vaiheessa heikkene ja täten vaaranna tuotannon jatkuvuutta. Tuotannon seisaus konerikon vuoksi tulee yrityksille erittäin kalliiksi, minkä vuoksi huolto-ohjelma tulee olla valmiiksi suunniteltu jo ennen kuin konetta aletaan käyttämään tuotannossa. Tämän työn tuloksena syntyneelle koneelle tulisi suunnitella tarkka huolto-ohjelma, josta selviäisi kaikki huoltokohteet. Näistä huoltokohteista tärkeimmät olisi kaikkien liukupintojen kevyt voitelu ja hihnojen ja remmien kunnon tarkastus halkeamien ja repeämien varalta. Nämä huoltokohteet tulisi tarkastaa vähintään kaksi kertaa kuukaudessa toimivuuden varmistamiseksi. Lisäksi olisi erittäin tärkeää, että kaikista koneessa käytetyistä hihnoista olisi varaosa heti saatavilla, jotta voitaisiin varmistua siitä, ettei tuotanto hihnan katkeamisen johdosta pääse keskeytymään.

#### 4.3 Rakenteellisten heikkouksien kehittäminen

Koneen alkuperäisessä rakenteessa on joitain ratkaisuja, jotka aiheuttavat suurta rasitusta kiinnityskohtiin. Yksi näistä ratkaisuista muutettiin (lineaarirakenteen runko), mutta koneessa on myös muita heikkouksia. Nämä kaikki muutokset rakenteen heikkouksiin, ovat osa tuotekehitysprojektia, joka koneelle voitaisiin suorittaa. Tuotekehitys rajattiin tässä työssä minimiin, sillä se olisi vaikea rajata koskemaan vain yksittäistä kokoonpanon kiinnitystä. Usein muutos kokoonpanon kiinnityksissä saattaa vaikuttaa myös muiden komponenttien sijoitteluun ja valintaan. Tuotekehitysprojekti saatetaan aloittaa tilanteessa, jossa asiakkailta raportoidaan rikkoontuneista suuremmista rakenteista. Jos nykyiset rakenteet kestävät ja toimivat, ei tuotekehityksen tarve ole akuutti.

## LÄHTEET

Andersson, P.H. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Helsinki: WSOY

Anwer, N. & Mathieu, L. 2016. From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. Viitattu: 6.3.2018 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01363747/document>

Bell, W. 2007. Reverse engineering. Delhi: Global Media

Blomqvist, M. & Tanskanen, K. 2004. Toimitusketjun hallinta. Teoksessa: Lehtonen, J-M. Tuotantotalous. Helsinki: WSOY.

Hiltunen, E.; Linko, L.; Hemminki, S.; Hägg, M.; Järvenpää, E; Saarinen, P.; Simonen, S. & Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Espoo: Metrologian neuvottelukunta. Viitattu: 5.3.2018. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>

Jahnukainen, J.; Lahti, M. & Virtanen, T. 1997. Loginet : Toimittajayhteistyö tilausohjautuvissa toimitusketjuissa. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Jomet Oy 2018. Jomet. Viitattu: 7.2.2018. <http://www.jomet.fi/jomet/> > Jomet.

Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Pahl, G. & Wolfgang, B. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Pere, A. 2012. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe

Sakki, J. 2003. Tilaus-toimitusketjun hallinta: Logistinen b-to-b-prosessi. Espoo: Jouni Sakki 2003.

Scanco. 3D Scanning myths. Viitattu: 9.3.2018 <https://www.3dscanco.com> > About.

Siemens. Artikkelissa Physical Digital: What is reverse engineering. Viitattu: 6.3.2018. <http://www.physicaldigital.com> > Knowledge Base.

Tanskanen, K. 2004. Hankinnat. Teoksessa: Lehtonen, J-M. Tuotantotalous. Helsinki: WSOY.

Tiensuu, V. 2005. Tuotteistaminen tutuksi. Lahti: Lahden Ammattikorkeakoulu 2005.

Várady, T.; Martin, R.R. & Cox, J. 1996. Reverse engineering of geometric models. Viitattu 7.3.2018 <https://pdfs.semanticscholar.org/ae6b/7a4a44acf133ac0e388ab86ba76eea0273ff.pdf>

Vuori, M. 2002. Asiantuntijapalvelujen tuotteistamisesta. Viitattu: 28.2.2018 <https://www.matti-vuori.net/kehittaminen/asiantpalv-tuotteistus/index.htm>

Välimaa, V.; Kankkunen, M.; Lagerroos, O. & Lehtinen, M. 1994. Tuotekehitys : Asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Österholm, J. & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.